

Δίκτυα Υπολογιστών



*Το επίπεδο δικτύου
(network layer)*

Κ. Βασιλάκης

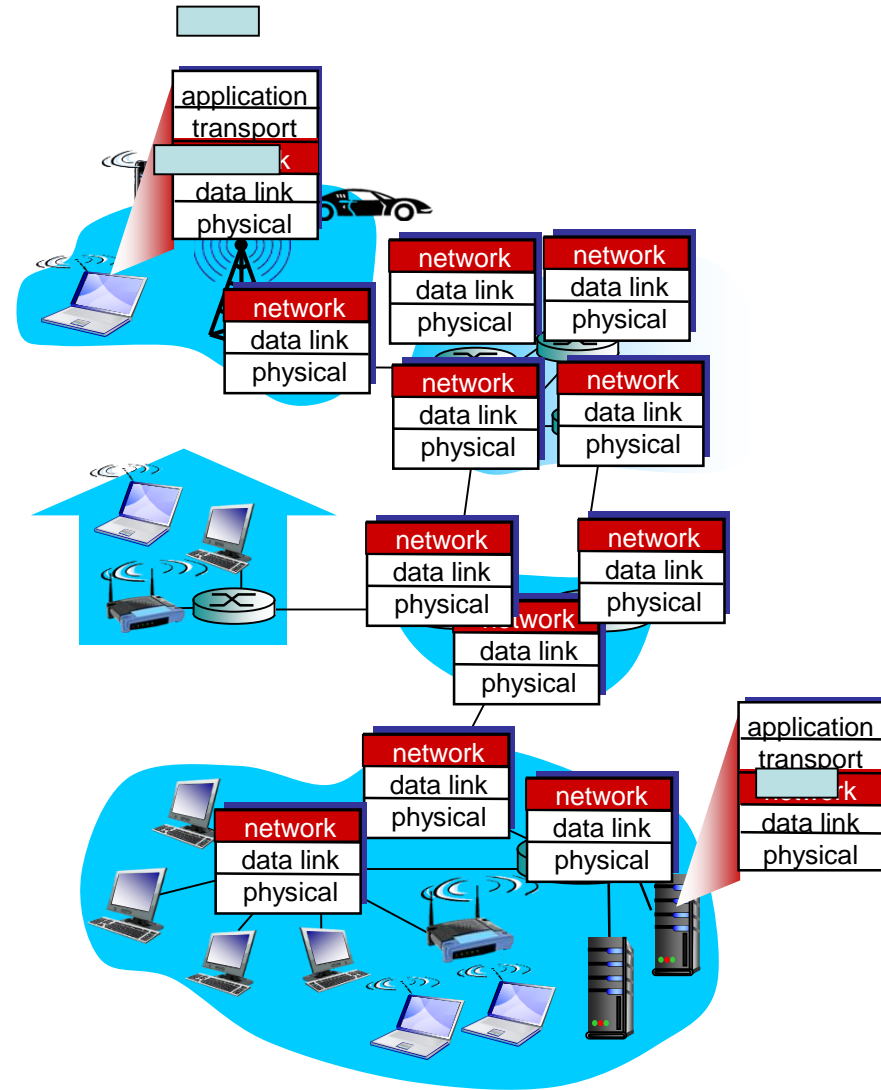
Περίγραμμα – ενότητες που εξετάζονται

- Μοντέλα υπηρεσιών του επιπέδου δικτύου
- Προώθηση έναντι δρομολόγησης (forwarding vs routing)
- Υπο-επίπεδα δεδομένων και ελέγχου
- IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου
- Μορφή δεδομενογράματος (datagram)
- Διευθυνσιοδότηση (addressing) IPv4
- Το πρωτόκολλο DHCP
- Μετάφραση Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)
- Υπο επίπεδο ελέγχου



Επίπεδο Δικτύου

- Μεταφορά τμήματος (segment) από τον host-αποστολέα στον host-δέκτη.
- Στην πλευρά αποστολής τα segments (τμήματα) ενθυλακώνονται σε datagrams (δεδομενογράμματα).
- Στην πλευρά του δέκτη, παραλαμβάνονται datagrams και παραδίδονται segments στο επίπεδο μεταφοράς.
- Τα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου λειτουργούν τόσο σε υπολογιστές (hosts) όσο και σε δρομολογητές.
- Κάθε δρομολογητής εξετάζει τα πεδία της κεφαλίδας όλων των IP datagrams που περνούν από αυτόν.



IP (Internet Protocol) v4 & v6



Δύο λειτουργίες κλειδιά του επιπέδου δικτύου

■ Προώθηση (forwarding):

Μετακίνηση πακέτων από μια εισερχόμενη ζεύξη του δρομολογητή στην κατάλληλη εξερχόμενη ζεύξη. Διεργασία τοπική στον δρομολογητή. Υλοποίηση με υλικό.

- Χρησιμοποιούνται πίνακες προώθησης (forwarding tables).

■ Δρομολόγηση (routing):

Καθορισμός της διαδρομής που ακολουθούν τα πακέτα καθώς ρέουν από τον host προέλευσης στον host προορισμού. Διεργασία στο σύνολο του Διαδικτύου. Υλοποίηση με λογισμικό.

- Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι δρομολόγησης (routing algorithms).

Αναλογία

■ Δρομολόγηση:

Η διαδικασία σχεδιασμού ενός ταξιδιού από την προέλευση στον προορισμό.

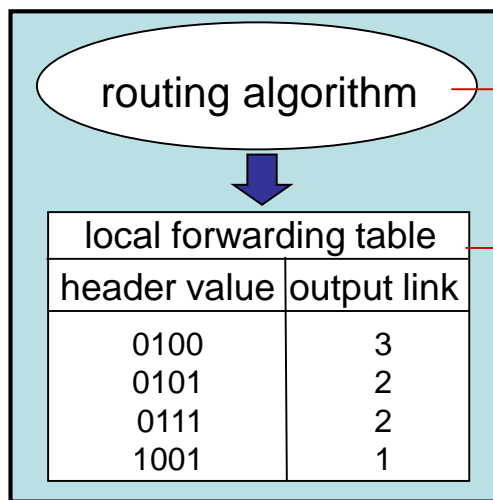
■ Προώθηση:

Η διαδικασία επιλογής μιας εξόδου σε μια διασταύρωση (διάσχιση)

Κάθε δρομολογητής έχει ένα πίνακα προώθησης



Αλληλεπίδραση μεταξύ δρομολόγησης και προώθησης



Ο αλγόριθμος δρομολόγησης προσδιορίζει την από άκρο-σε-άκρο διαδρομή.

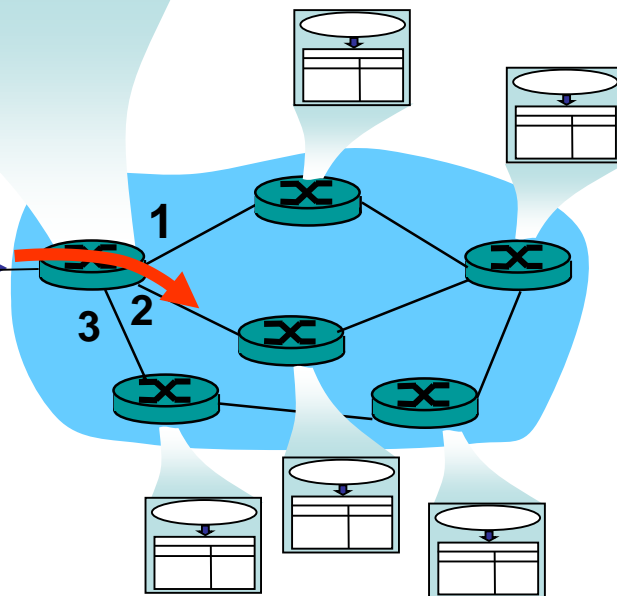
Ο πίνακας προώθησης προσδιορίζει τη τοπική προώθηση στον δρομολογητή.

Οι τιμές στους πίνακες προώθησης καθορίζονται σύμφωνα με τους αλγόριθμους δρομολόγησης.

Τιμή στη κεφαλίδα του αφικνούμενου πακέτου



Ο δρομολογητής αφού εξετάσει την κεφαλίδα (συγκεκριμένο πεδίο) του πακέτου προωθεί το πακέτο στη κατάλληλη ζεύξη.



Ένας αλγόριθμος δρομολόγησης:

- μπορεί να εκτελείται σε ένα μόνο σημείο ή
- μπορεί να είναι κατανεμημένος σε δρομολογητές,
- δέχεται μηνύματα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης και παραμετροποιεί τους πίνακες στους δρομολογητές.

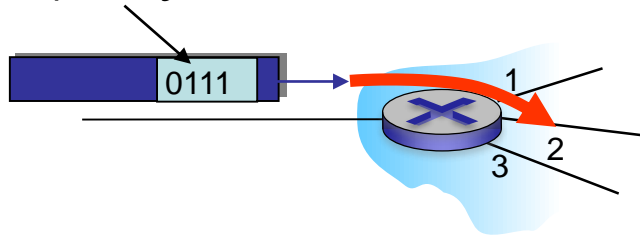


Υπο-επίπεδα δεδομένων και ελέγχου

■ Υποεπίπεδο δεδομένων

- Υλοποιεί τη λειτουργία της προώθησης που είναι τοπική λειτουργία ανά δρομολογητή.
- Προσδιορίζει πώς προωθείται σε μία ζεύξη εξόδου ένα εισερχόμενο δεδομενογράφημα.

Εξετάζονται οι τιμές στις κεφαλίδες των πακέτων



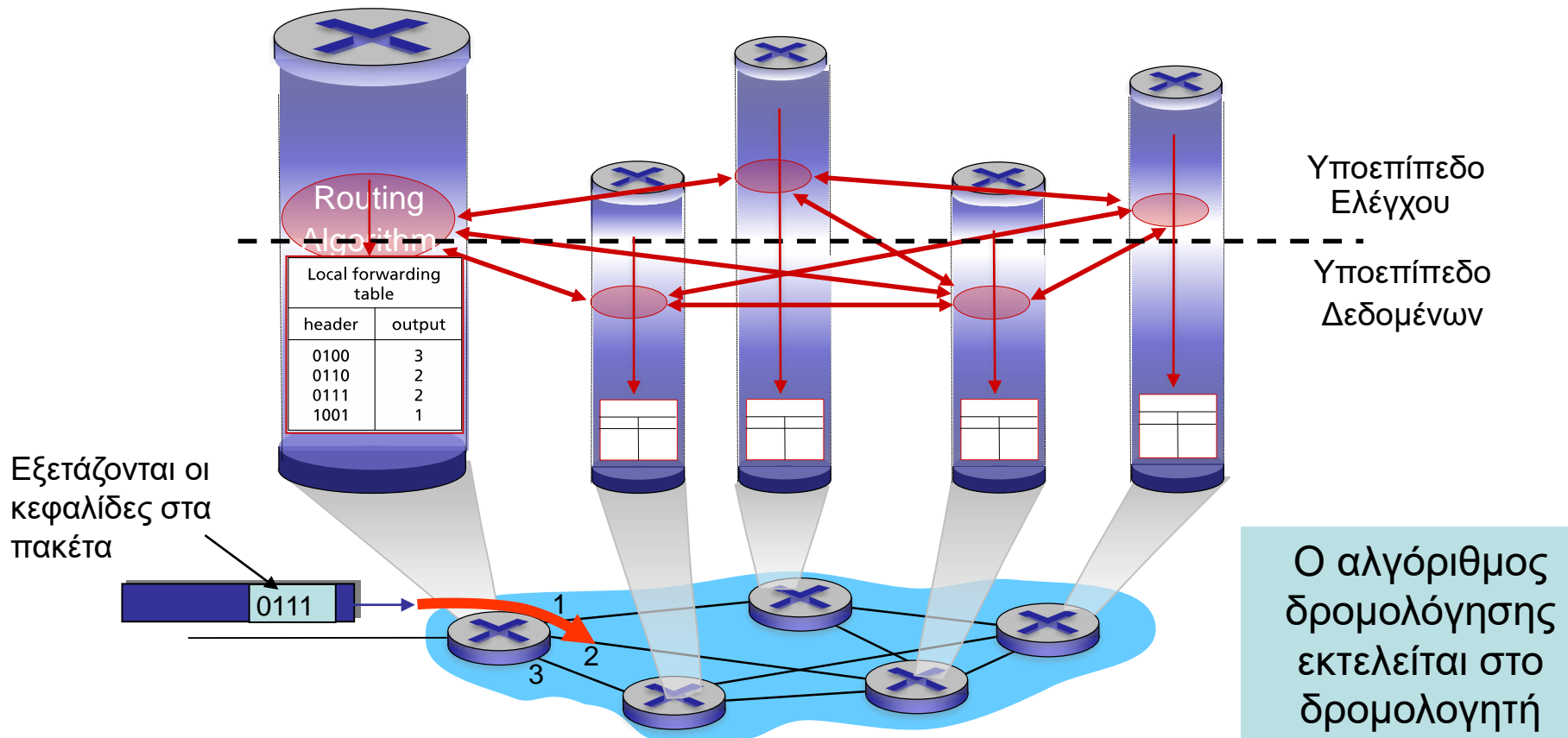
■ Υποεπίπεδο Ελέγχου

- Υλοποιεί τη λειτουργία της δρομολόγησης που είναι λειτουργία σε επίπεδο δικτύου.
- Προσδιορίζει πως ένα δεδομενογράφημα δρομολογείται από άκρο-σε-άκρο (από τον προέλευση στο προορισμό).
- Υπάρχουν 2 προσεγγίσεις:
 - Με χρήση παραδοσιακών αλγορίθμων δρομολόγησης που υλοποιείται μέσα στους δρομολογητές.
 - Με χρήση δικτύωσης που ορίζεται με λογισμικό (SDN) που υλοποιείται σε εξωτερικούς εξυπηρετητές.



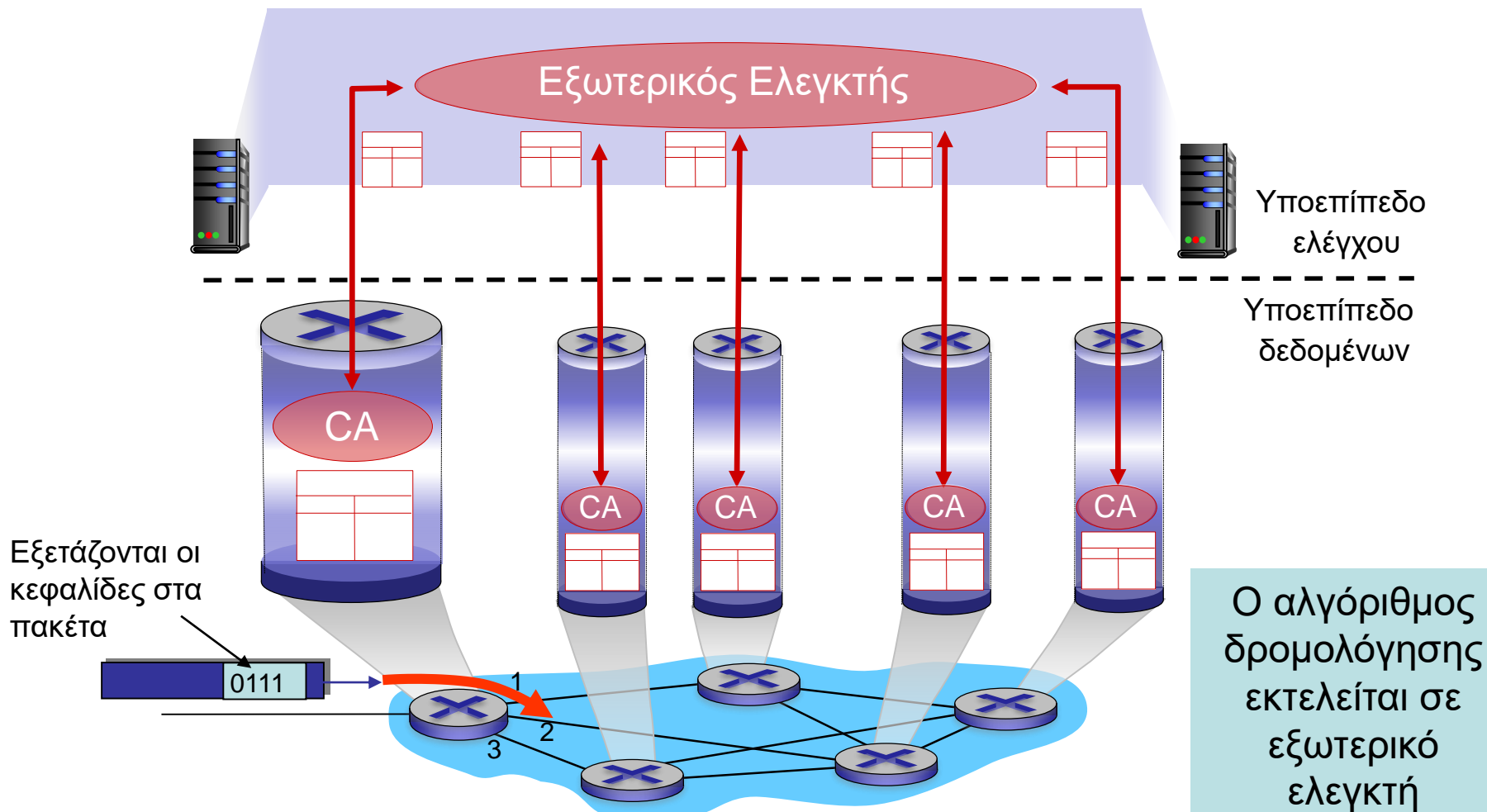
Υποεπίπεδο Ελέγχου: υλοποίηση σε δρομολογητές

Για τον υπολογισμό των τιμών στο πίνακα προώθησης ανταλλάσσονται στοιχεία μεταξύ των δρομολογητών (παραδοσιακή προσέγγιση).



Υποπίπεδο Ελέγχου: υλοποίηση με εξωτερικό ελεγκτή

- Ένας εξωτερικός ελεγκτής υπολογίζει και διανέμει τους πίνακες προώθησης για κάθε δρομολογητή.



Επιθυμητές υπηρεσίες του επιπέδου δικτύου

- Πιθανές υπηρεσίες του επιπέδου δικτύου για ξεχωριστά datagrams:
 - Εγγυημένη παράδοση (το πακέτο θα φτάσει στο προορισμό του).
 - Εγγυημένη παράδοση με οριοθετημένη καθυστέρηση (πχ παράδοση από άκρο-σε-άκρο σε χρόνο μικρότερο από 40 msec).
- Πιθανές υπηρεσίες του επιπέδου δικτύου για ροή datagrams:
 - Παράδοση των datagrams με τη σωστή σειρά.
 - Εγγυημένο ελάχιστο *εύρος ζώνης* στη ροή (συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης από την προέλευση στο προορισμό).
 - Εγγυημένη *μέγιστη διακύμανση χρονισμού* (jitter). Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο πακέτων στη αποστολή είναι το ίδιο και στη λήψη (ή αλλάζει μέχρι κάποιο όριο).
 - Υπηρεσίες ασφάλειας (κρυπτογράφηση).
 - Υπηρεσίες ακεραιότητας δεδομένων και επαλήθευσης προέλευσης.
- Δυστυχώς στο Διαδίκτυο έχουμε ΜΟΝΟ

υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας!



Τι προσφέρεται στο επίπεδο δικτύου από το Διαδίκτυο;

- Στη πραγματικότητα από το πρωτόκολλο του Διαδικτύου (IP protocol) προσφέρεται μόνο μια υπηρεσία *βέλτιστης προσπάθειας* και τίποτα άλλο.
- Δεν υπάρχουν εγγυήσεις για:
 - διατήρηση του χρονισμού,
 - άφιξη των πακέτων με τη σωστή σειρά,
 - παράδοση όλων των πακέτων.
- Στο επίπεδο δικτύου υπάρχουν όμως και άλλες αρχιτεκτονικές όπως τα:
 - ATM *σταθερού ρυθμού bit* (constant bit rate -CBR) και
 - ATM *διαθέσιμου ρυθμού bit* (available bit rate -ABR).
- Αυτές χρησιμοποιούν συνδέσεις εικονικού κυκλώματος και προσφέρουν κάτι παραπάνω από την βέλτιστη προσπάθεια του IP πρωτοκόλλου.



Υπηρεσία σύνδεσης

- Πρόκειται για την 3η λειτουργία (εκτός της προώθησης και της δρομολόγησης) του επιπέδου δικτύου που είναι αρκετά σημαντική για ορισμένες δικτυακές αρχιτεκτονικές όπως:
 - ATM, Frame Relay, MPLS, X.25
- Πριν ξεκινήσει η ροή των datagrams, οι δύο τερματικοί υπολογιστές και οι δρομολογητές που μεσολαβούν αποκαθιστούν μια εικονική σύνδεση.
 - Σε αυτό συμμετέχουν οι δρομολογητές.
- Φυσικά και εδώ απαιτείται εγκαθίδρυση σύνδεσης πρώτα.
- Υπηρεσία σύνδεσης επιπέδου δικτύου έναντι επιπέδου μεταφοράς.
 - Δικτύου: σύνδεση μεταξύ δύο υπολογιστών, που όμως στην περίπτωση των εικονικών κυκλωμάτων (Virtual Circuits -VCs) μπορεί να συμμετέχουν και οι δρομολογητές που μεσολαβούν.
 - Μεταφοράς: σύνδεση μεταξύ δύο διεργασιών.



Μεταγωγείς πακέτων

- Ένας μεταγωγέας πακέτου (packet switch) μεταφέρει ένα πακέτο από τη διεπαφή ζεύξης εισόδου σε διεπαφή ζεύξης εξόδου (προώθηση).



- Μεταγωγείς επιπέδου ζεύξης:
 - Η προώθηση γίνεται εξετάζοντας ένα πλαίσιο (frame) του επιπέδου ζεύξης (2nd layer switches / link-layer switches).
 - Χρησιμοποιούνται κυρίως στα τοπικά δίκτυα.

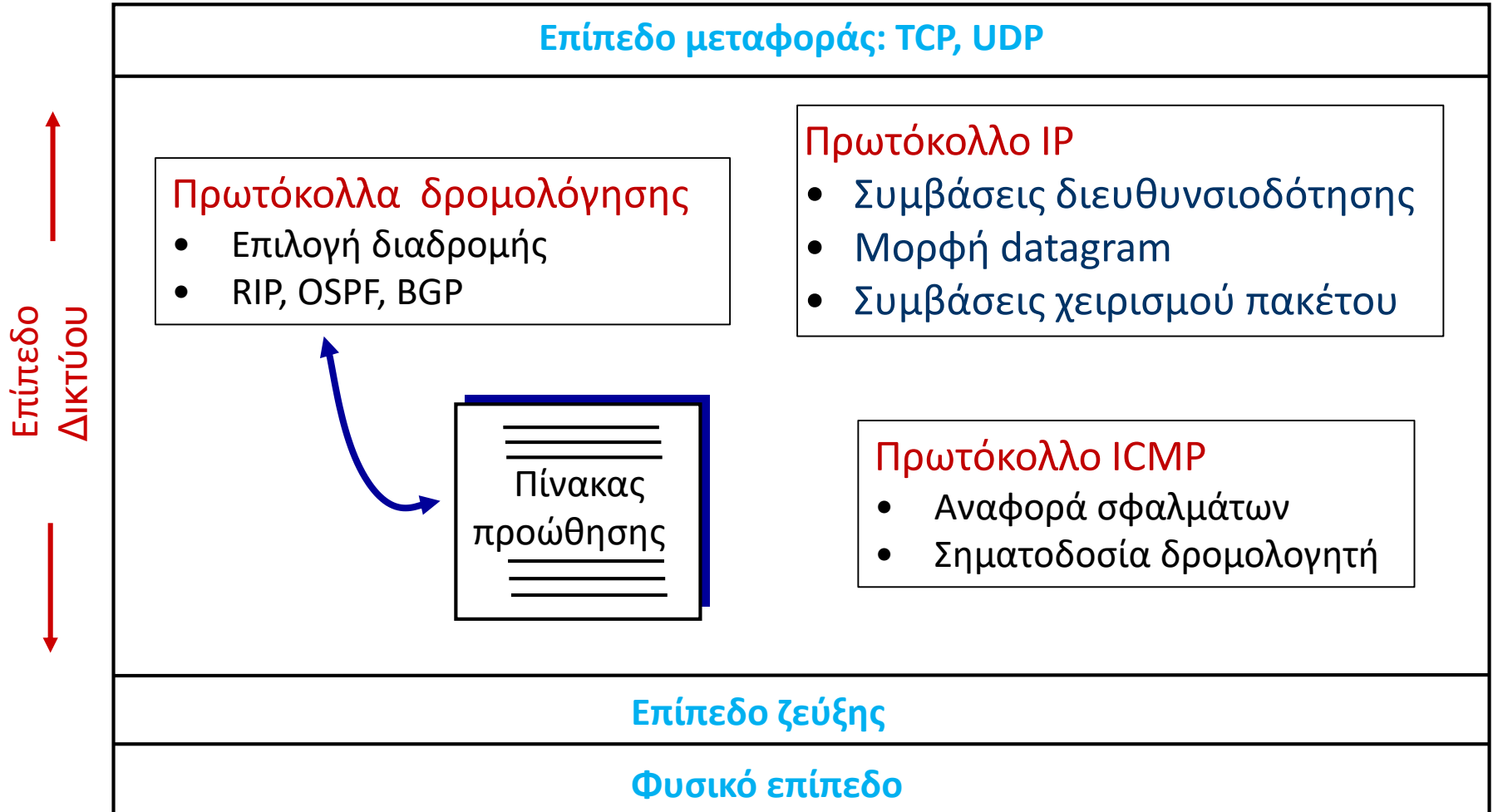


- Μεταγωγείς επιπέδου δικτύου:
 - Η προώθηση γίνεται εξετάζοντας ένα datagram του επιπέδου δικτύου (3rd layer switches).
 - Ο όρος *3rd layer switch* χρησιμοποιείται εναλλακτικά με τον όρο *router* (δρομολογητής).
 - Μπορούν και υλοποιούν πρωτόκολλα επιπέδου ζεύξης.
 - Χρησιμοποιούνται κυρίως στα δίκτυα κορμού.

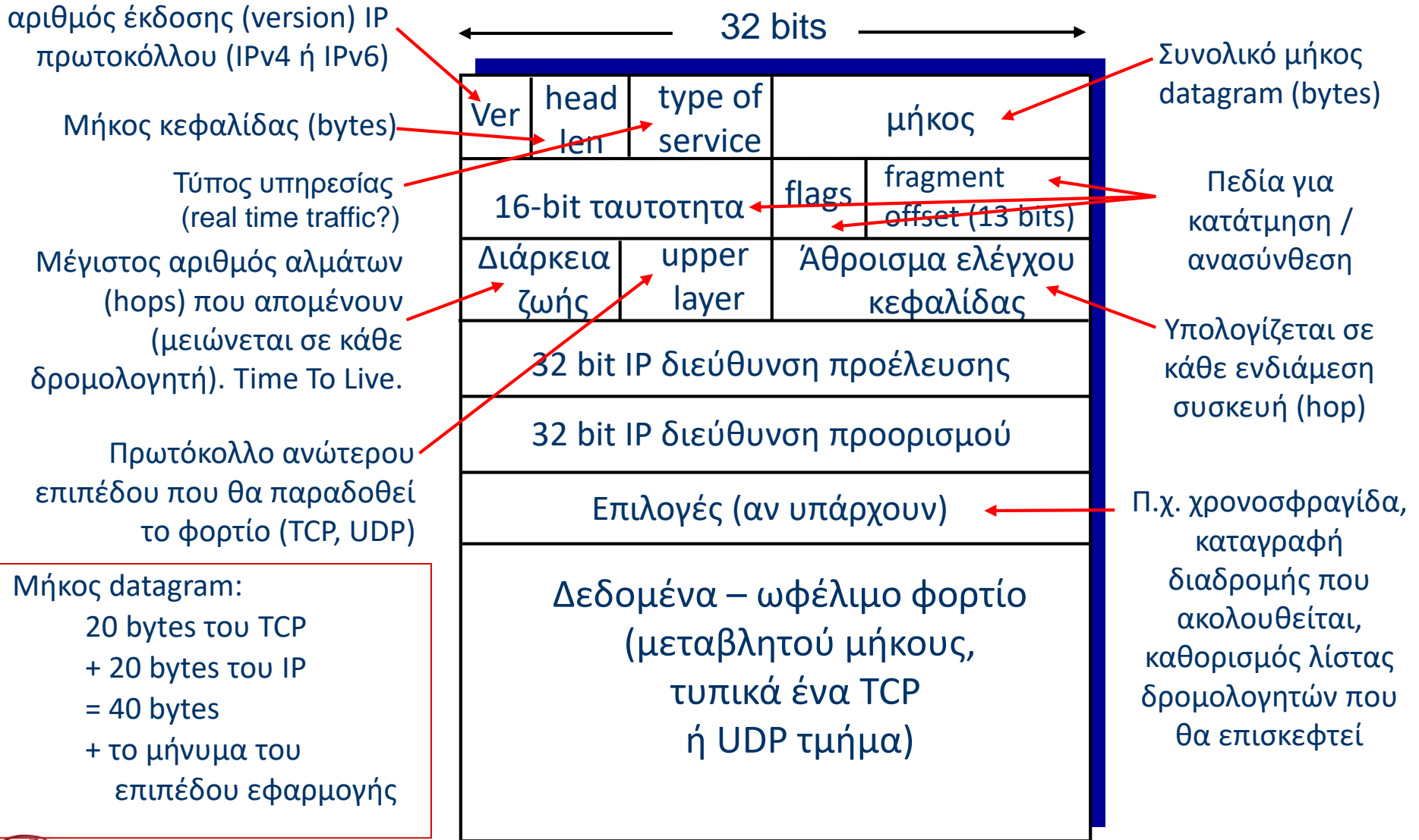


Το επίπεδο Δικτύου στο Διαδίκτυο

- Τα συστατικά που το απαρτίζουν

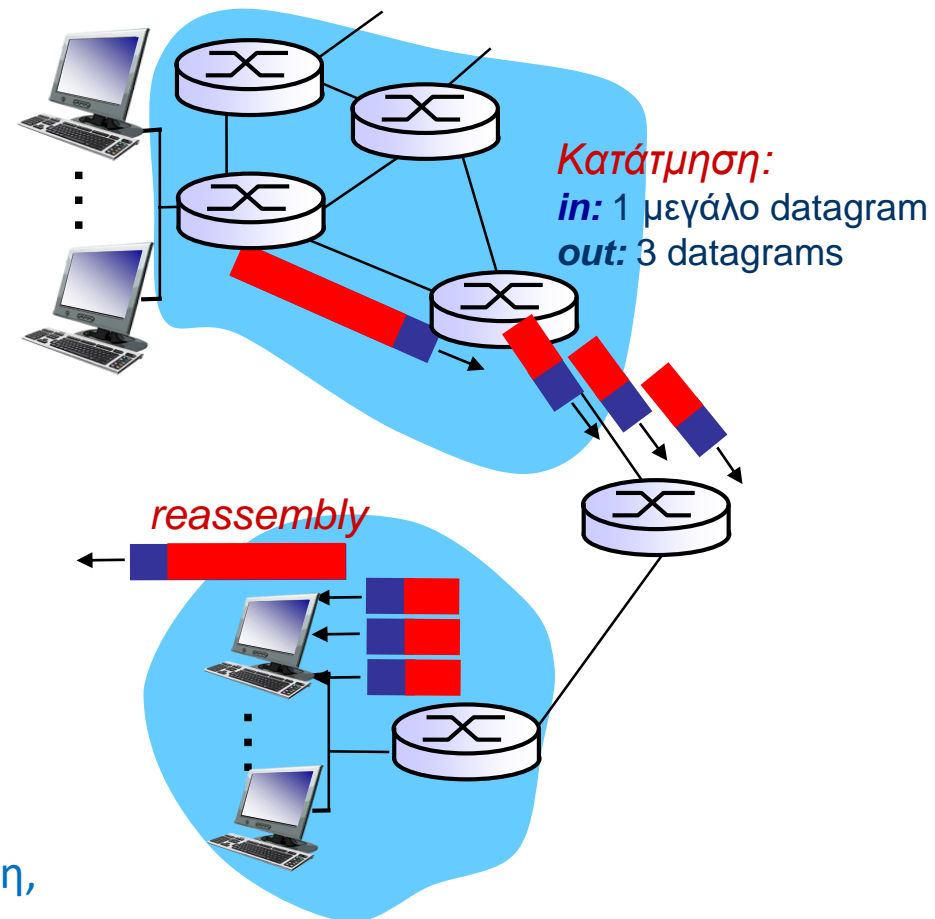


Μορφή datagram (δεδομενογράμματος) –IPv4



Κατάτμηση και ανασύνθεση του datagram

- Οι ζεύξεις του δικτύου ενδέχεται να έχουν κάποια μέγιστη μονάδα μεταφοράς (MTU - maximum transmission unit), δηλ. ένα μέγιστο δυνατό (σε bytes) πακέτο επιπέδου ζεύξης.
 - Για διαφορετικούς τύπους ζεύξης, έχουμε διαφορετικές MTUs.
- Ένα μεγάλο IP datagram μπορεί να τεμαχίζεται όπως μετακινείται στο δίκτυο (fragmentation):
 - ένα datagram γίνεται πολλαπλά datagrams,
 - “ανασυντίθενται” (reassemble) **μόνο** στον τελικό προορισμό,
 - τα bits της κεφαλίδας IP χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση, διάταξη των σχετικών τεμαχίων.



Παράδειγμα κατάτμησης

έστω ότι έχουμε:

- ένα datagram 4000 byte
- και ότι
- MTU = 1500 bytes

	length	ID	frag	offset	
	=4000	=x	=0	=0	

Ένα μεγάλο datagram γίνεται πολλαπλά μικρότερα datagrams

1480 bytes στο
πεδίο δεδομένων

Μετατόπιση (offset)
= $1480/8$

	length	ID	flag	offset	
	=1480	=x	=1	=0	

	length	ID	flag	offset	
	=1480	=x	=1	=185	

	length	ID	flag	offset	
	=1020	=x	=0	=370	

$$185 \cdot 8 = 1480$$

$$370 \cdot 8 = 2960$$



Διευθυνσιοδότηση IP: εισαγωγή

- Μια διεύθυνση IP αποτελείται από 4 bytes (32 bits, δηλαδή δυνητικά έχουμε: 2^{32} IP διευθύνσεις).
- Τυπικά εκφράζονται με δεκαδικό συμβολισμό (dotted-decimal notation):
τα τέσσερα bytes χωρίζονται με τελείες και εκφράζονται στο δεκαδικό σύστημα (από 0 έως $2^8 - 1$):

147.95.40.60

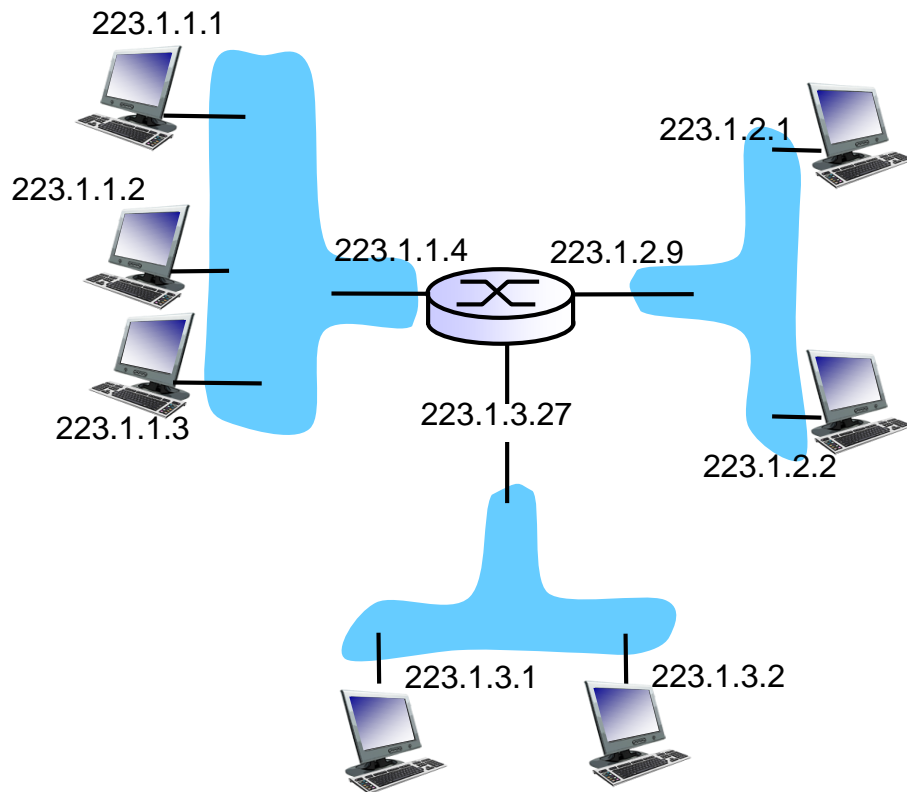
(10010011.01011111.00101000.00111100)

- Η μορφή των IP διευθύνσεων είναι ιεραρχική (δηλαδή, προχωρώντας από αριστερά προς τα δεξιά παίρνουμε όλο και πιο συγκεκριμένες πληροφορίες για τη θέση του υπολογιστή στο διαδίκτυο).
- Αυτές οι διευθύνσεις μπορεί να είναι είτε στατικές (μόνιμες), είτε δυναμικές (αποδίδονται από υπηρεσίες δυναμικά).



Αποδίδονται σε διεπαφές και όχι σε υπολογιστές

- Διεύθυνση IP (IP address): 32-bit ταυτότητα της διεπαφής (interface) του υπολογιστή / δρομολογητή.
- Διεπαφή ή διασύνδεση: το όριο μεταξύ υπολογιστή / δρομολογητή και της φυσικής ζεύξης.
- Μια διεύθυνση IP σχετίζεται με μια διεπαφή και όχι με υπολογιστή ή δρομολογητή.

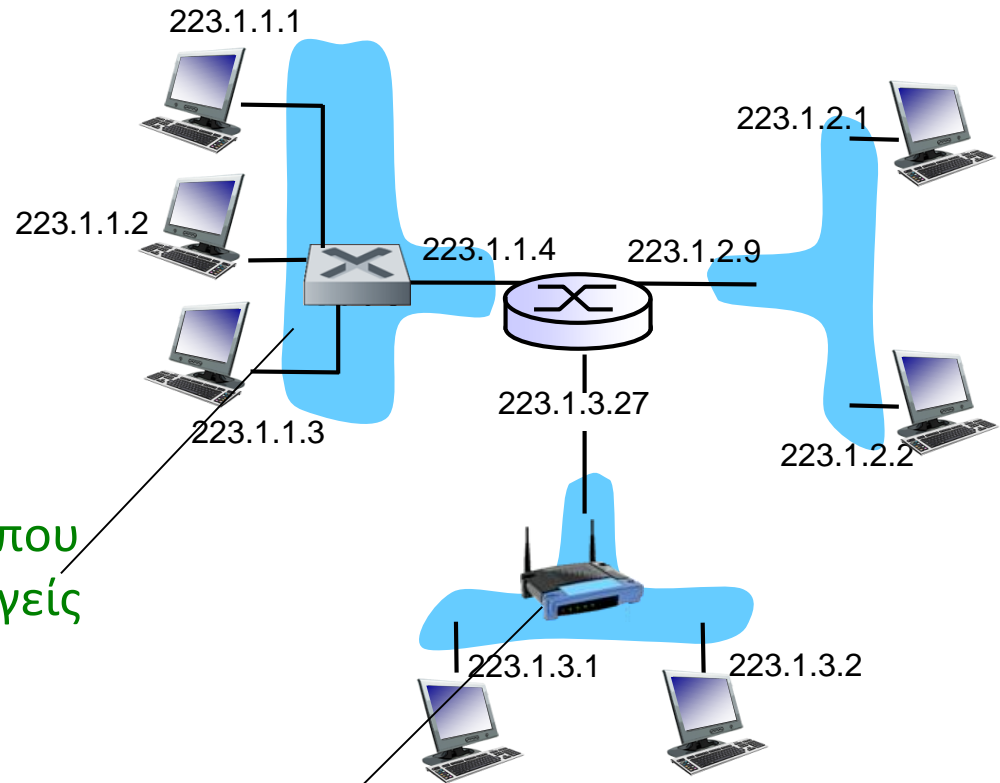


$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$$



Πως συνδέονται οι διεπαφές

- Οι δρομολογητές τυπικά έχουν πολλές διεπαφές.
- Ένας υπολογιστής τυπικά έχει μια διεπαφή.



Ενσύρματες Ethernet διεπαφές που συνδέονται με Ethernet μεταγωγείς

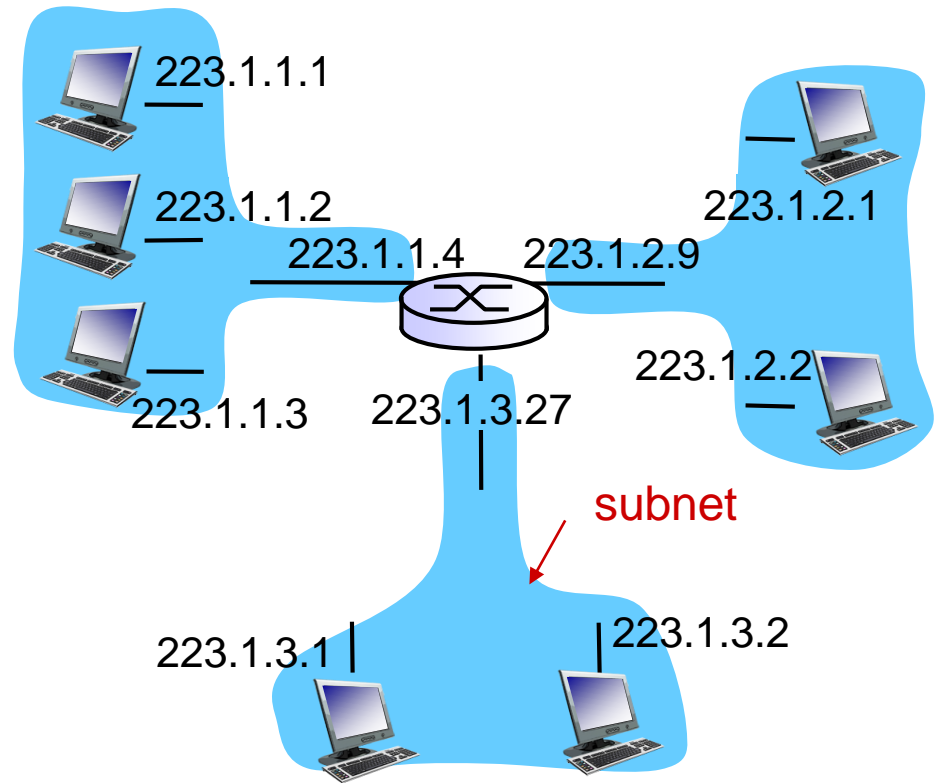
Ασύρματες WiFi διεπαφές που συνδέονται με WiFi συσκευές ασύρματης πρόσβασης

- Κάθε διεπαφή στο διαδίκτυο έχει μια **παγκόσμια μοναδική IP διεύθυνση**.



Υποδίκτυα (subnets)

- Κάθε IP διεύθυνση IP αποτελείται από 2 τμήματα:
 - Τμήμα υποδικτύου (subnet part) – υψηλής τάξης bits.
 - Τμήμα υπολογιστή (host part) - χαμηλής τάξης bits.
- Τι είναι ένα υποδίκτυο;
 - Διεπαφές συσκευών με ίδιο τμήμα υποδικτύου στις IP διευθύνσεις τους.
 - Έχουν φυσική πρόσβαση το ένα στο άλλο, χωρίς μεσολάβηση δρομολογητή.

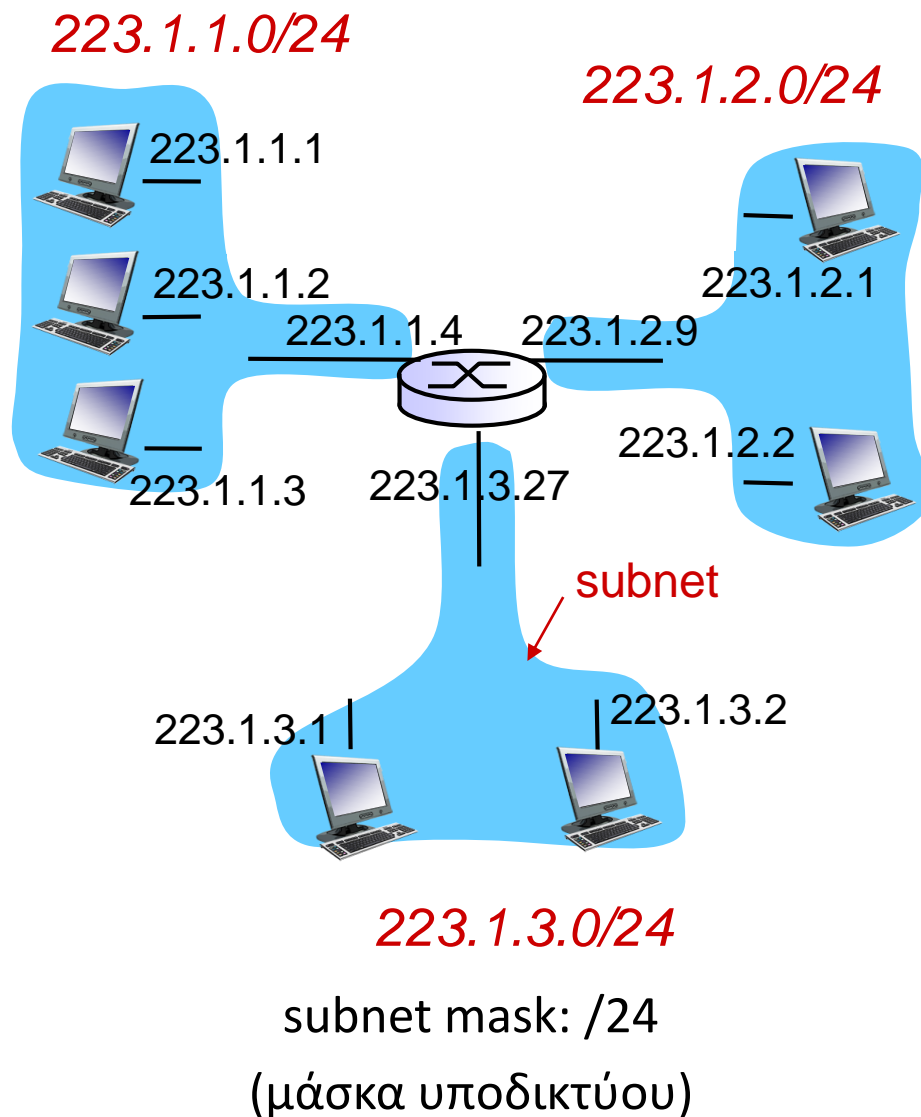


Δίκτυο που απαρτίζεται από 3 υποδίκτυα:
223.1.1.x, 223.1.2.x και 223.1.3.x



Συνταγή για τον προσδιορισμό των υποδικτύων

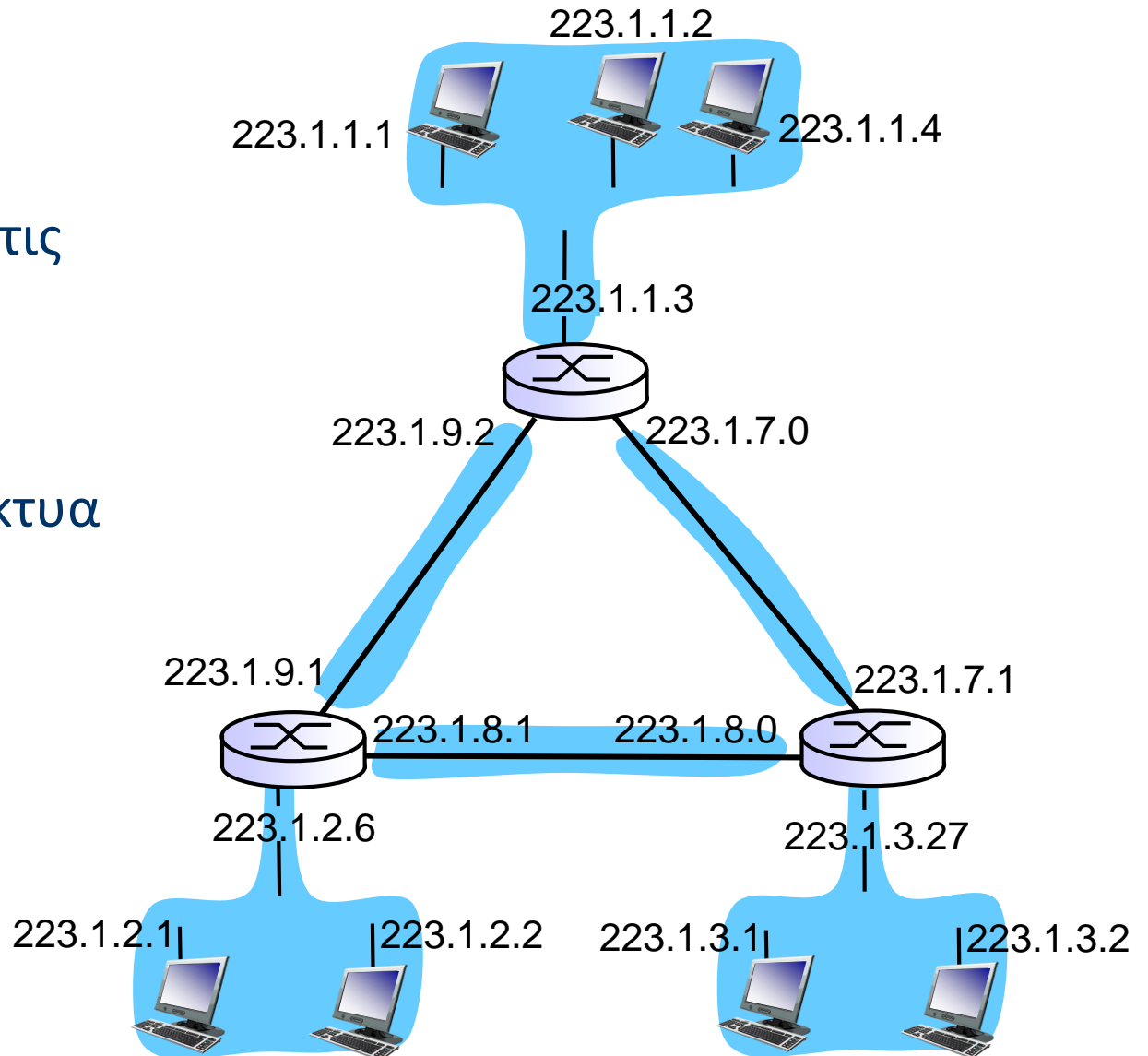
- Για τον καθορισμό των υποδικτύων, αποσυνδέστε κάθε διεπαφή από τον υπολογιστή ή το δρομολογητή, δημιουργώντας νησίδες απομονωμένων δικτύων.
- Κάθε απομονωμένο δίκτυο καλείται υποδίκτυο (subnet).



Πόσα υποδίκτυα έχουμε;

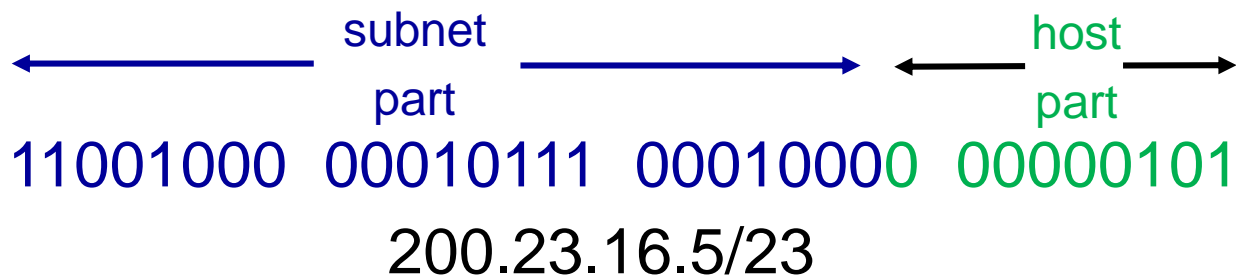
Απομονώνουμε τις
διεπαφές

Έχουμε 6 υποδίκτυα



Διευθυνσιοδότηση IP: CIDR

- **CIDR**: Classless InterDomain Routing (Αταξική Διατομεακή Δρομολόγηση).
- Το τμήμα (υπο-)δικτύου (subnet part) της διεύθυνσης έχει οποιοδήποτε μήκος.
- Η δομή της διεύθυνσης είναι: $a.b.c.d/x$,
όπου x είναι ο αριθμός των bits στο τμήμα (υπο-)δικτύου της διεύθυνσης (πρόθεμα)
- Οι δρομολογητές εξετάζουν μόνο το πρόθεμα του προορισμού όταν προωθούν ένα δεδομενογράφημα.



Διευθυνσιοδότηση με κλάσεις (classfull addressing)

- Ίσχυε πριν την υιοθέτηση του CIDR
- Το τμήμα του (υπο)δικτύου μιας IP διεύθυνσης περιοριζόταν σε συγκεκριμένο μήκος: 8, 16, 24 bit.
 - *Δίκτυα κλάσης A* (υποδίκτυο με διεύθυνση 8 bits)
 - *Δίκτυα κλάσης B* (υποδίκτυο με διεύθυνση 16 bits)
 - *Δίκτυα κλάσης C* (υποδίκτυο με διεύθυνση 24 bits)
- Αυτή η ταξινόμηση αποδείχτηκε προβληματική:
 - Συχνά τα δίκτυα κλάσης C δεν επαρκούσαν για τις ανάγκες ενός οργανισμού.
 - Από την άλλη τα δίκτυα κλάσης B υπο-χρησιμοποιούσαν τις διευθύνσεις που διέθεταν.



Πως παίρνει κάποιος IP διευθύνσεις ;

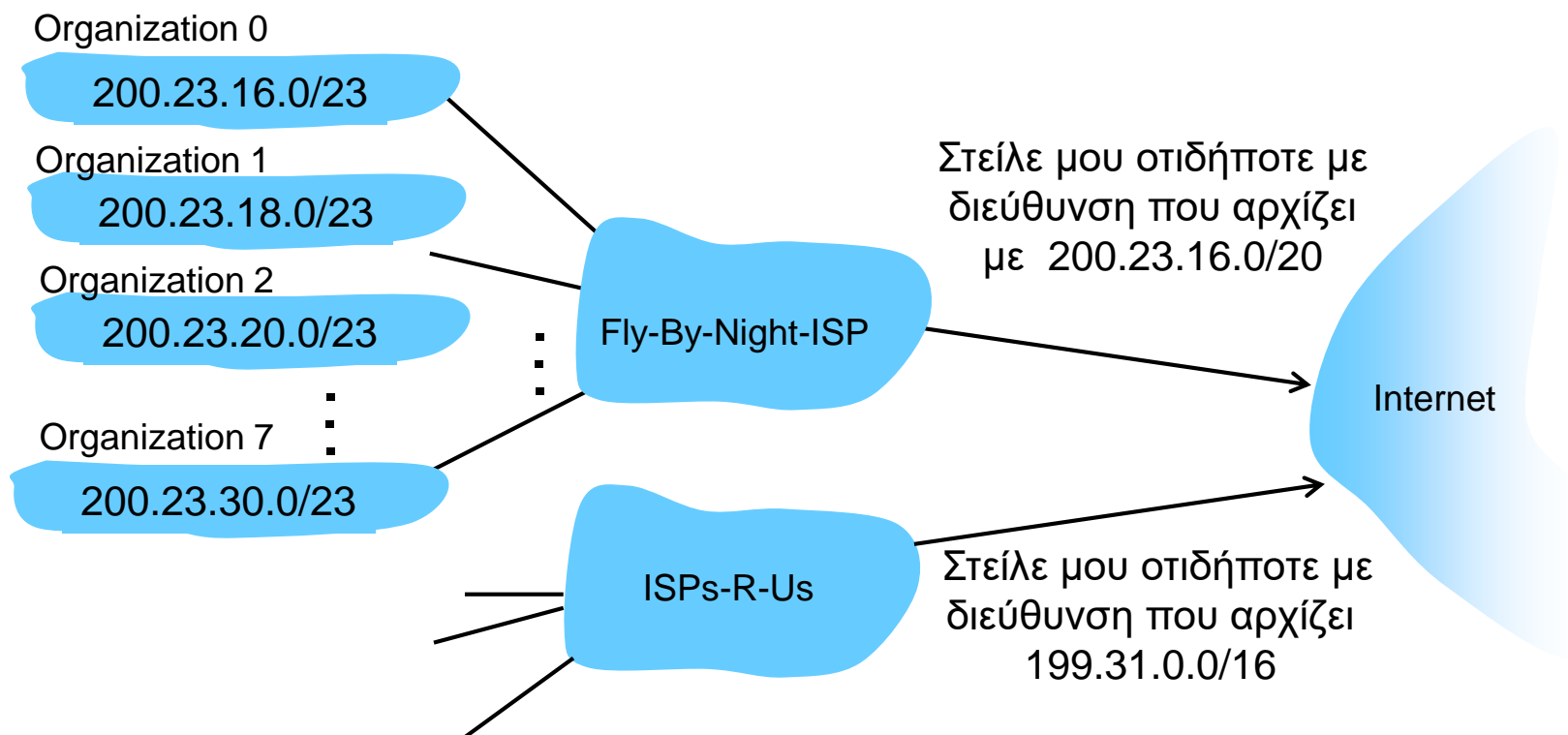
- Για να πάρει κάποιος οργανισμός μια ή περισσότερες IP διευθύνσεις, θα πρέπει να απευθυνθεί στον ISP του.
- ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
<http://www.icann.org/>
 - Κατανέμει διευθύνσεις στους ISPs.
 - Διαχειρίζεται DNS εξυπηρετητές ρίζας (root).
 - Αποδίδει ονόματα τομέων (domain names), διευθετεί διαφορές.

ISP's block	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/20
Organization 0	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/23
Organization 1	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010010</u>	00000000	200.23.18.0/23
Organization 2	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010100</u>	00000000	200.23.20.0/23
...	
Organization 7	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00011110</u>	00000000	200.23.30.0/23



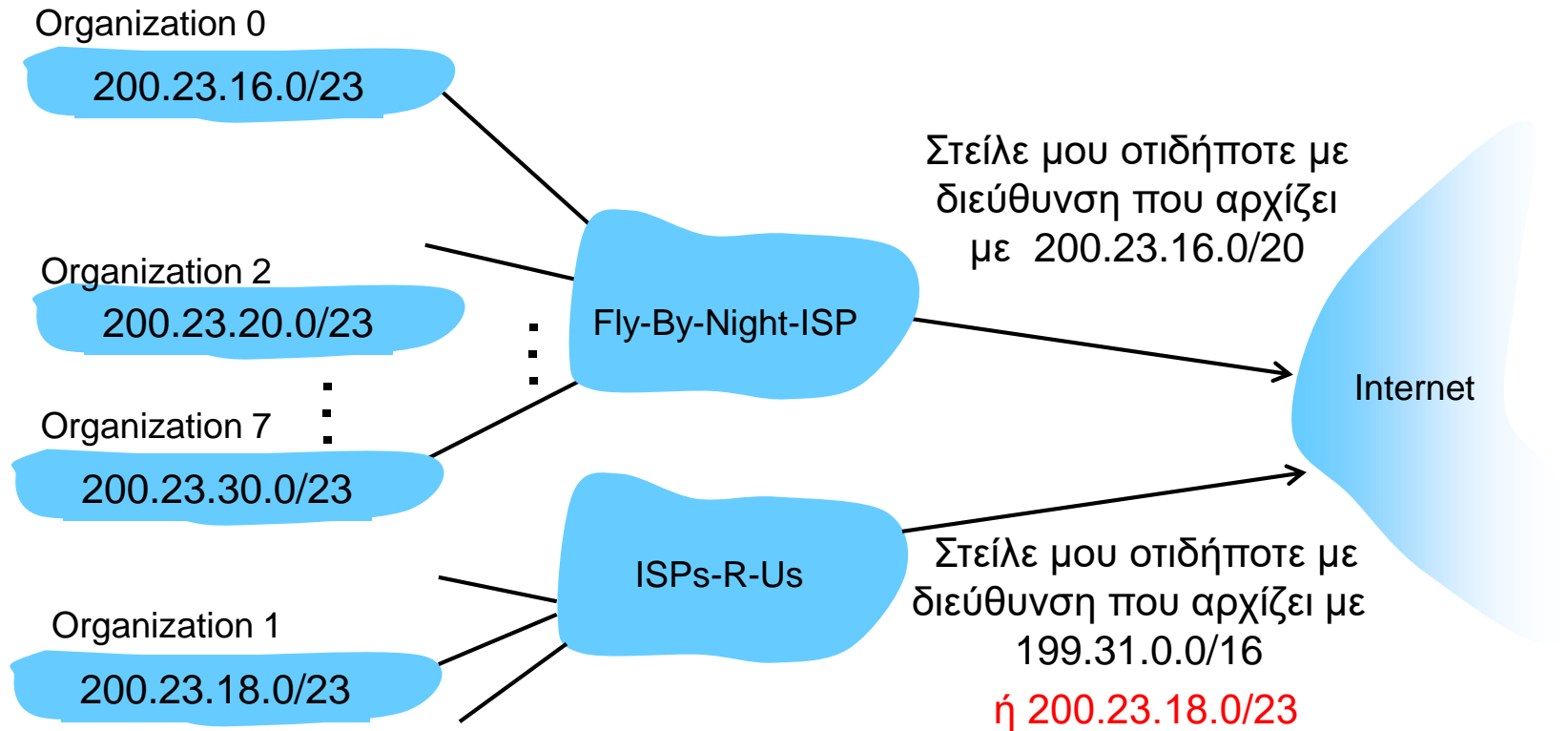
Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση: συνάθροιση διαδρομών

- Hierarchical addressing: route aggregation
- Η ιεραρχική διευθυνσιοδότηση επιτρέπει την αποδοτική δημοσιοποίηση (advertisement) της πληροφορίας δρομολόγησης:



Επιλογή των πιο συγκεκριμένων διαδρομών

- Τι θα συμβεί αν ο Organization 1 πάει στον ISPs R-U; (καταργείται η ιεραρχία)
- Ο ISP R-Us θα πρέπει να δημοσιοποιεί και την 200.23.18.0/23.
- Και οι δύο ISPs δημοσιοποιούν τις διευθύνσεις του Organization 1.
- Όμως ο ISPs-R-Us έχει μια **πιο** συγκεκριμένη διαδρομή προς τον Organization 1.



Πώς παίρνει ένας υπολογιστής διεύθυνση IP;

- Προσδιορίζεται στο λειτουργικό σύστημα από το διαχειριστή του συστήματος.
 - Στα Windows:
Επιλογή: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties και καταχώρηση
 - Στα συστήματα UNIX:
Στο αρχείο /etc/rc.config με καταχώρηση εγγραφής στο αρχείο.
- **DHCP**: Dynamic Host Configuration Protocol (δυναμική απόδοση διεύθυνσης από ένα εξυπηρετητή).
 - Η απόδοση γίνεται αυτόματα (“plug-and-play”).
- Οι IP διευθύνσεις των διεπαφών στους δρομολογητές συνήθως αποδίδονται χειρονακτικά από τους διαχειριστές.

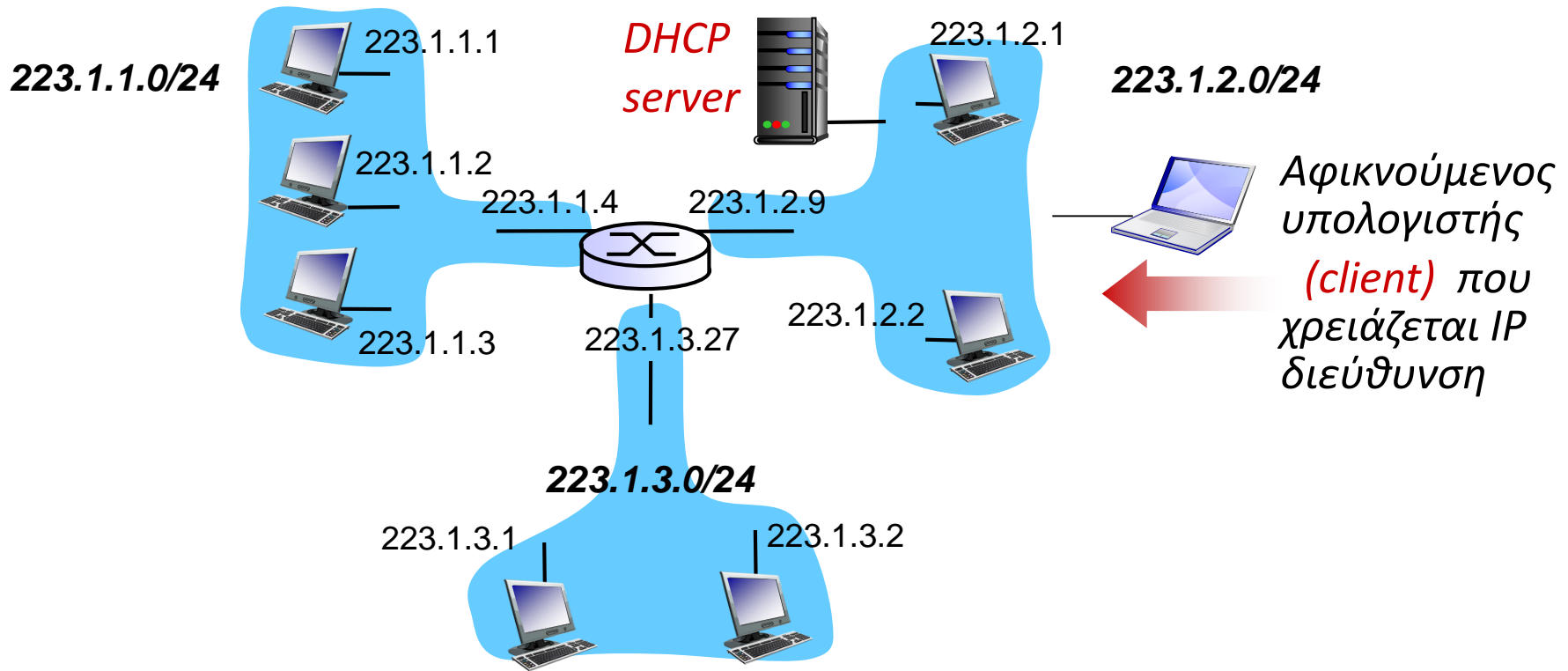


Το πρωτόκολλο DHCP

- Επιτρέπει στους υπολογιστές ν' αποκτούν (δεσμεύουν) δυναμικά διευθύνσεις IP όταν συνδέονται στο δίκτυο.
- Οι διευθύνσεις αποδίδονται αυτόματα από ένα *DHCP* εξυπηρετητή του δικτύου.
- Μπορεί να γίνεται ανανέωση της δέσμευσης της διεύθυνσης που χρησιμοποιείται.
- Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση των διευθύνσεων (η διεύθυνση δεσμεύεται μόνο όσο είναι συνδεδεμένος και «ενεργός» ο υπολογιστής –προσωρινή διεύθυνση).
- Υποστήριξη για κινητούς χρήστες που θέλουν να συνδεθούν στο δίκτυο.
- Επίσης, μέσω του DHCP προσφέρονται πρόσθετες πληροφορίες όπως η μάσκα του υποδικτύου και οι διευθύνσεις του εξυπηρετητή DNS και του τοπικού δρομολογητή.
- Plug-and-play protocol.



DHCP: επισκόπηση



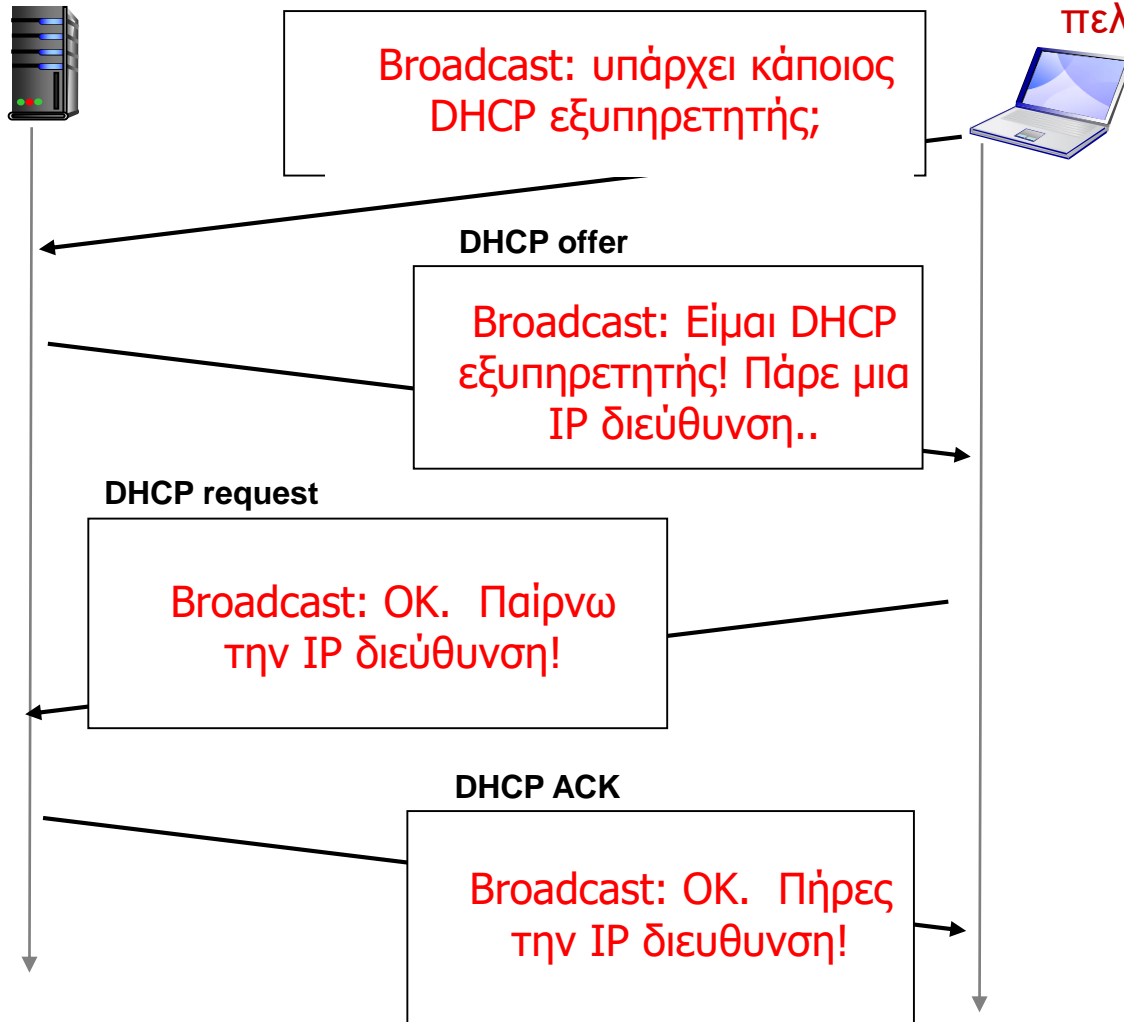
- Ο υπολογιστής εκπέμπει (broadcasts) “*DHCP discover*” msg
- Ο εξυπηρετητής DHCP αποκρίνεται με “*DHCP offer*” msg
- Ο υπολογιστής ζητά διεύθυνση IP: “*DHCP request*” msg
- Ο εξυπηρετητής DHCP στέλνει τη διεύθυνση: “*DHCP ack*” msg



Σενάριο πελάτη-εξυπηρετητή DHCP

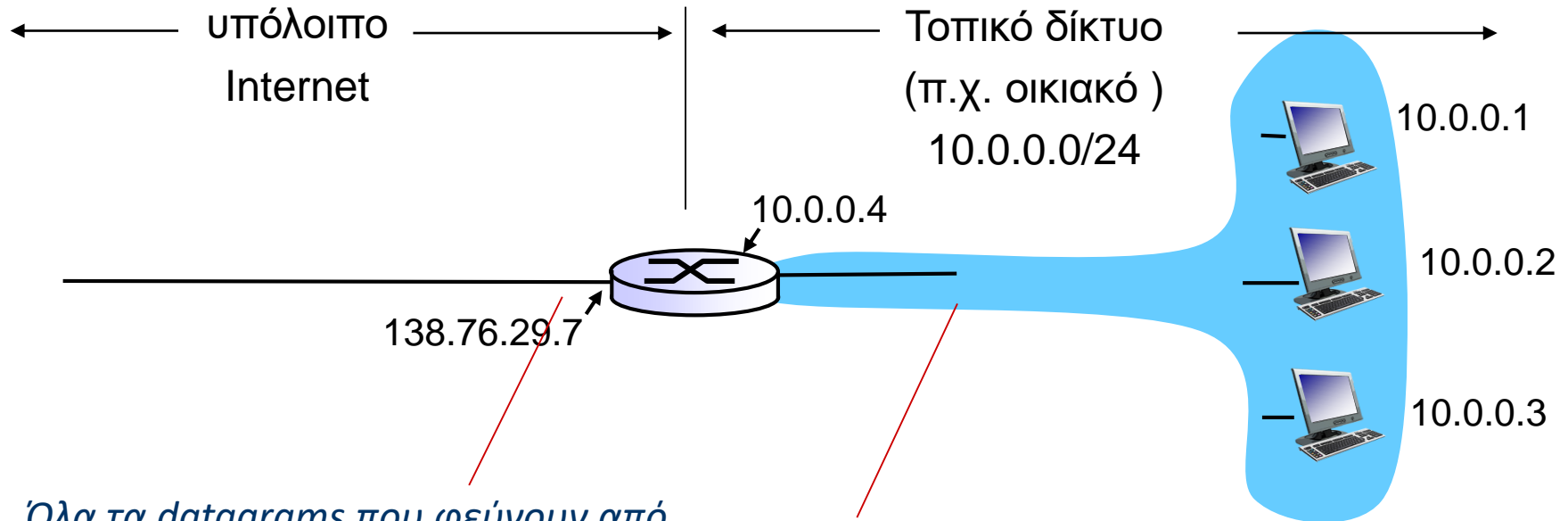
DHCP server: 223.1.2.5

αφικνούμενος πελάτης



Μετάφραση Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)

■ NAT: Network Address Translation



Όλα τα *datagrams* που φεύγουν από το τοπικό δίκτυο έχουν την ίδια διεύθυνση IP προέλευσης NAT: 138.76.29.7 και διαφορετικούς αριθμούς θύρας προέλευσης.

Τα *datagrams* με προέλευση ή προορισμό σε αυτό το δίκτυο έχουν διεύθυνση 10.0.0.0/24 ως προέλευση, προορισμό (όπως συνήθως.)

Ο χώρος διευθύνσεων **10.0.0.0/8** μπορεί να δεσμευτεί για ιδιωτικά δίκτυα. Για τον ίδιο λόγο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι χώροι: **192.168.0.0/16** και **172.16.0.0/12** (non routed IPs)



NAT: κίνητρο και χαρακτηριστικά

- *Κίνητρο:* το τοπικό δίκτυο χρησιμοποιεί μόνο μία διεύθυνση IP όσον αφορά τον εξωτερικό κόσμο.
- Δεν απαιτείται σύνολο διευθύνσεων από τον ISP: μόνο μία διεύθυνση IP για όλες τις συσκευές.
- Μπορούν να αλλαχτούν οι διευθύνσεις των συσκευών στο τοπικό δίκτυο χωρίς να ειδοποιηθεί ο έξω κόσμος.
- Μπορεί να αλλαχτεί ο ISP χωρίς να αλλάξουν οι διευθύνσεις στο τοπικό δίκτυο.
- Μια συσκευή εντός του τοπικού δικτύου δεν είναι ορατή από τον έξω κόσμο ως σαφώς διευθυνσιοδοτημένη (ένα συν στην ασφάλεια).



NAT: υλοποίηση (λειτουργίες δρομολογητή)

- Εξερχόμενα datagrams: αντικατάσταση [διεύθυνση IP προέλευσης, αριθμός θύρας] κάθε εξερχόμενου datagram με το [διεύθυνση IP NAT, νέος αριθμός θύρας]
 - ... οι απομακρυσμένοι πελάτες/εξυπηρέτες θα απαντήσουν χρησιμοποιώντας (διεύθυνση IP NAT, νέος αριθμός θύρας) ως διεύθυνση προορισμού. . .
- Αποθήκευση (στον πίνακα μετάφρασης NAT -translation table) κάθε ζεύγους μετάφρασης από:
 - [διεύθυνση IP προέλευσης, αριθμός θύρας]σε
 - [διεύθυνση IP NAT, νέος αριθμός θύρας]
- Εισερχόμενα datagrams: αντικατάσταση [διεύθυνση IP NAT, νέος αριθμός θύρας] στα πεδία προορισμού κάθε εισερχόμενου datagram με το αντίστοιχο [διεύθυνση IP προέλευσης, αριθμός θύρας] που είναι αποθηκευμένο στον πίνακα NAT.

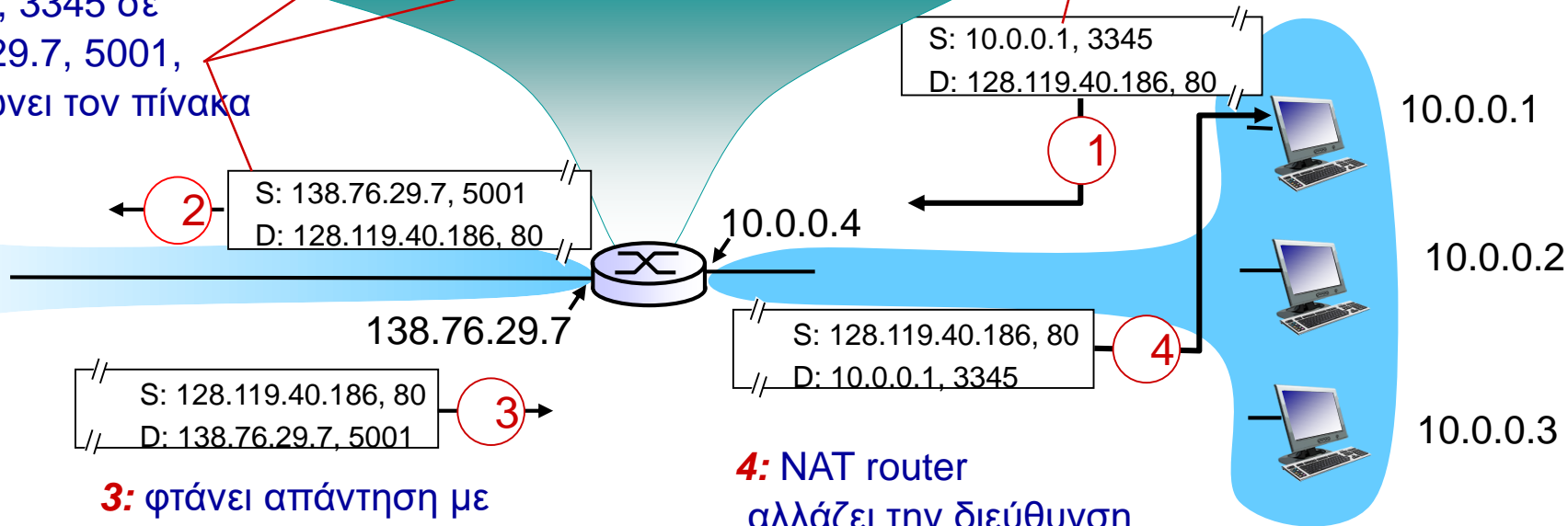


NAT: Παράδειγμα λειτουργίας

2: NAT router αλλάζει τη διεύθυνση προέλευσης του datagram από 10.0.0.1, 3345 σε 138.76.29.7, 5001, ενημερώνει τον πίνακα

NAT translation table	
WAN side addr	LAN side addr
138.76.29.7, 5001	10.0.0.1, 3345
.....

1: host 10.0.0.1 στέλνει datagram στο 128.119.40.186, 80



3: φτάνει απάντηση με διεύθυνση προορισμού: 138.76.29.7, 5001

4: NAT router αλλάζει την διεύθυνση προορισμού του datagram από 138.76.29.7, 5001 σε 10.0.0.1, 3345



NAT: παρατηρήσεις

- Πεδίο 16-bit αριθμού θύρας:
 - *60.000 ταυτόχρονες συνδέσεις με μια μόνο διεύθυνση στην πλευρά του LAN!*
- Το NAT είναι αμφιλεγόμενο:
 - *Οι αριθμοί θυρών πρέπει να χρησιμοποιούνται για διευθυνσιοδότηση διεργασιών μόνο και όχι υπολογιστών.*
 - *Οι δρομολογητές θα πρέπει να επεξεργάζονται πακέτα μόνο μέχρι το επίπεδο 3.*
 - *Παραβιάζει την αρχή από-άκρο-σε-άκρο (end-to-end argument):*
 - η δυνατότητα NAT πρέπει να ληφθεί υπόψη από τους σχεδιαστές εφαρμογών, πχ, εφαρμογές P2P.
 - *Η έλλειψη διευθύνσεων θα πρέπει να επιλυθεί με το IPv6 (και όχι με το NAT).*



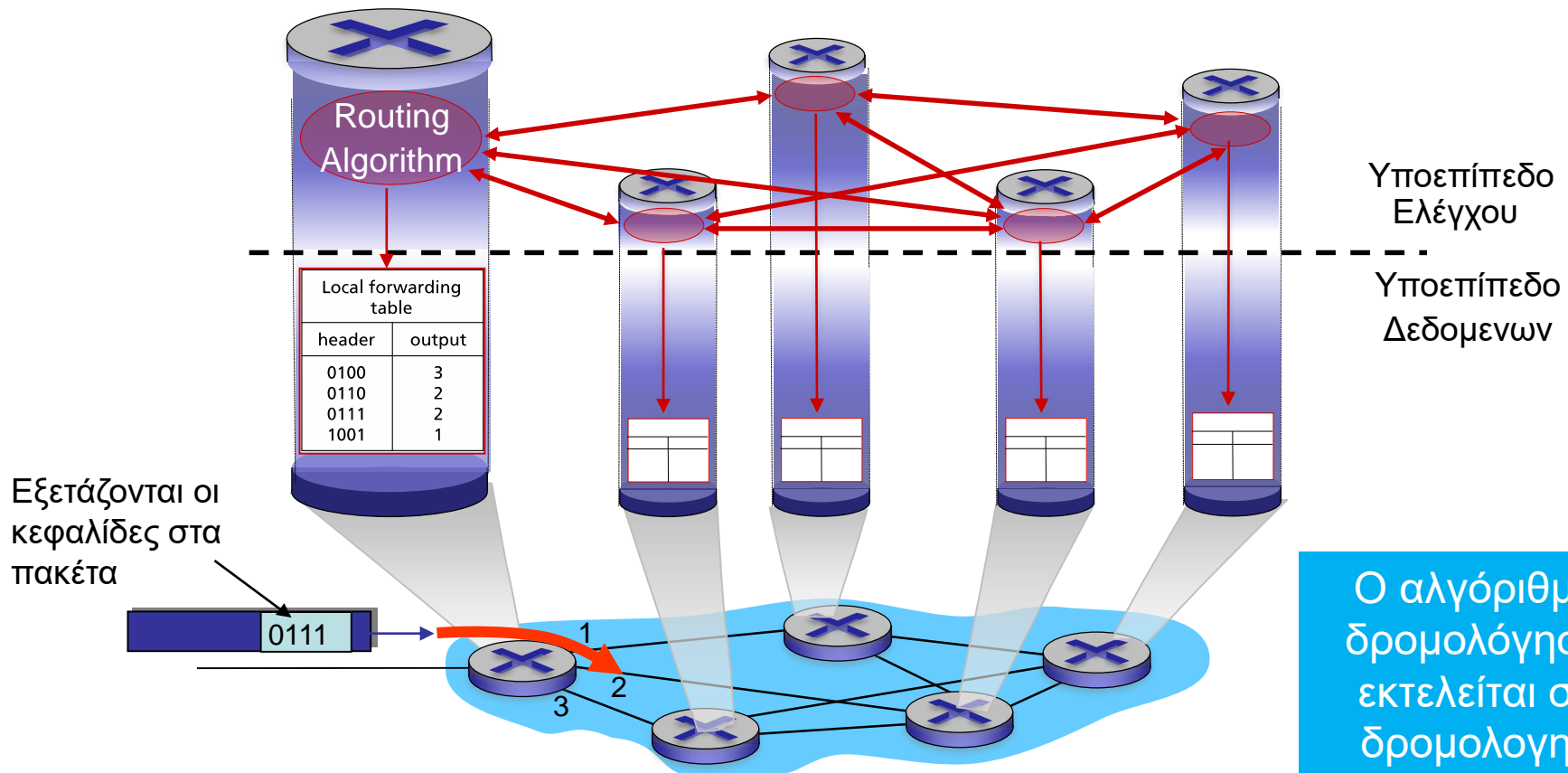
Επίπεδο Δικτύου – Υποεπίπεδο Ελέγχου

- Όπως έχουμε προαναφέρει, στο επίπεδο Δικτύου, έχουμε 2 βασικές λειτουργίες:
 - *Πρώθηση*: αφορά στη μετακίνηση των πακέτων μέσα στους δρομολογητές (από τη είσοδο στη κατάλληλη έξοδο) – υποεπίπεδο δεδομένων.
 - *Δρομολόγηση*: αφορά στο προσδιορισμό της διαδρομής από τη προέλευση στο προορισμό -υποεπίπεδο ελέγχου.
- Σε τι αφορά ο έλεγχος:
 - *Πως μετακινείται ένα δεδομενογράφημα ανάμεσα σε δρομολογητές από άκρο (προέλευση) σε άκρο (προορισμός).*
 - *Πως γίνεται η παραμετροποίηση και η διαχείριση των συστατικών και των υπηρεσιών.*
- Δύο προσεγγίσεις ελέγχου:
 - *ανά δρομολογητή (παραδοσιακή) – υλοποίηση: δρομολογητές*
 - *λογικά κεντριοποιημένος – υλοποίηση σε εξωτερικό ελεγκτή.*



Υποεπίπεδο Ελέγχου: υλοποίηση σε δρομολογητές

- Για τον υπολογισμό των τιμών στο πίνακα προώθησης ανταλλάσσονται στοιχεία μεταξύ των δρομολογητών

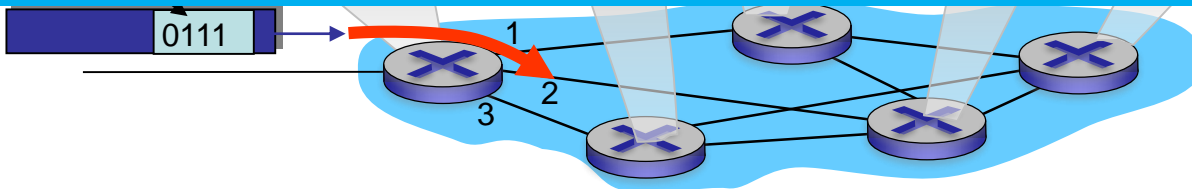


Υποεπίπεδο Ελέγχου: υλοποίηση σε δρομολογητές

- Για τον υπολογισμό των τιμών στο πίνακα προώθησης ανταλλάσσονται στοιχεία μεταξύ των δρομολογητών

Κάθε δρομολογητής έχει ένα συστατικό δρομολόγησης το οποίο επικοινωνεί με τα συστατικά δρομολόγησης άλλων δρομολογητών, για να υπολογίσει τις τιμές στο πίνακα προώθησης. Γνωστά πρωτόκολλα που βασίζονται σε αυτή τη προσέγγιση: OSFP & BGP

Εξετάζο
κεφαλί
πακέτα

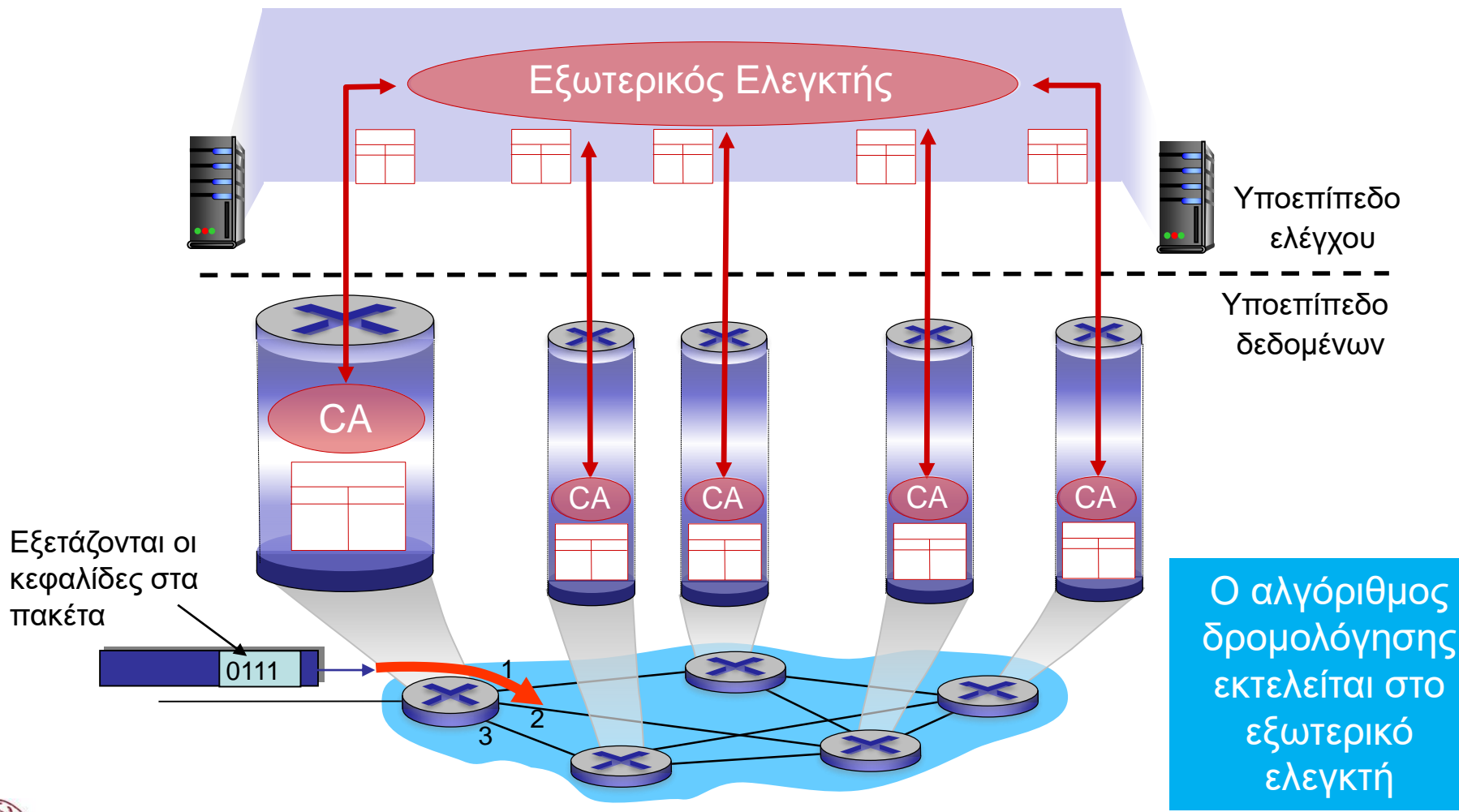


θμος
δρομολόγησης
εκτελείται στο
δρομολογητή



Υποπίπεδο Ελέγχου: υλοποίηση με εξωτερικό ελεγκτή

- Ένας εξωτερικός ελεγκτής υπολογίζει και διανέμει τους πίνακες προώθησης για κάθε δρομολογητή.

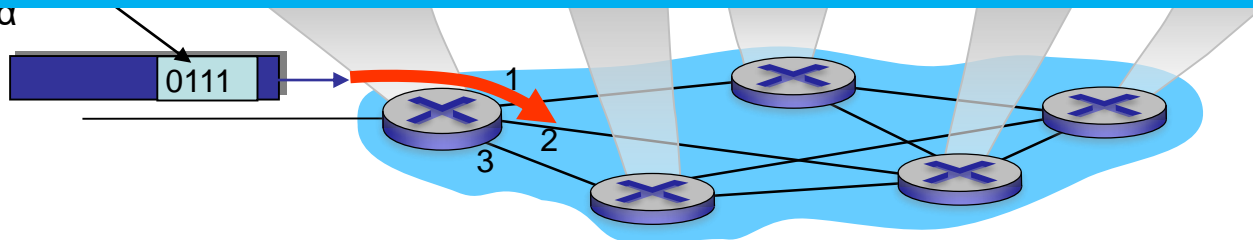


Υποεπίπεδο Ελέγχου: υλοποίηση με εξωτερικό ελεγκτή

- Ένας εξωτερικός ελεγκτής υπολογίζει και διανέμει τους πίνακες

Αντίθετα με τη προηγούμενη υλοποίηση οι δρομολογητές δεν επικοινωνούν μεταξύ τους για ανταλλαγή πληροφοριών. Ειδικό λογισμικό (Control Agents) σε κάθε δρομολογητή επικοινωνεί με τον εξωτερικό ελεγκτή και αλλάζει τον πίνακα προώθησης σύμφωνα με τις εντολές του ελεγκτή. Τεχνικές της δικτύωσης που ορίζεται με λογισμικό (SDN – Software Define Networks) ακολουθούν αυτή τη προσέγγιση.

Ε
κε
Πακέτα



ομοσ
δρομολόγησης
εκτελείται στο
εξωτερικό
ελεγκτή



Αλγόριθμοι δρομολόγησης

- *Στόχος ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης:* να καθορίσει μια «καλή» διαδρομή μεταξύ του τερματικού σημείου προέλευσης και του τερματικού σημείου προορισμού, διαμέσου του δικτύου των δρομολογητών.
- Ανάλογα με τα κριτήρια που έχουν τεθεί μια «καλή» διαδρομή μπορεί να είναι:
 - *αυτή με το μικρότερο κόστος, η πιο γρήγορη, όποια ικανοποιεί συγκεκριμένες κάποιες πολιτικές ή συμμορφώνεται αποδοτικότερα σε κάποιους κανόνες.*
- Η τεχνολογία των αλγορίθμων δρομολόγησης αποτελεί μια από 10 κορυφαίες προκλήσεις της σημερινής δικτύωσης!

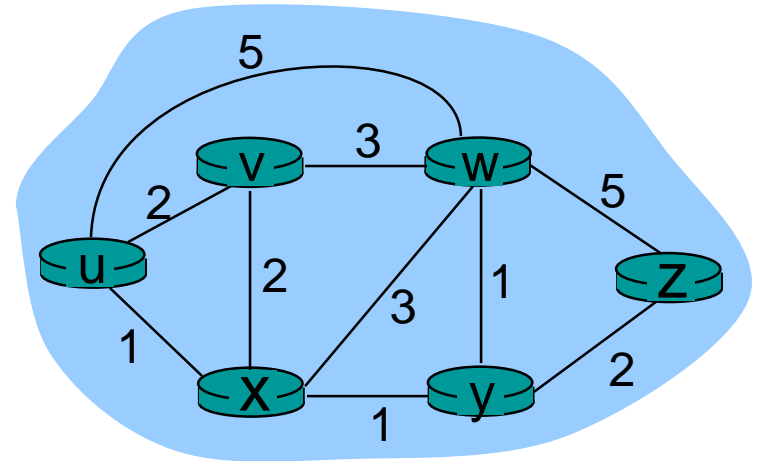
Διαδρομή:

μια σωστά καθορισμένη αλληλουχία δρομολογητών από τους οποίους θα περάσει το πακέτο στη μετακίνηση του από τη προέλευση στο τελικό προορισμό.



Αναπαράσταση των δικτύων με γράφους

- Ένας γράφος $G = (N, E)$ είναι ένα σύνολο κόμβων και μια συλλογή ακμών που συνδέουν κόμβους.
- Σ' ένα δίκτυο οι N κόμβοι είναι οι δρομολογητές και οι ακμές οι φυσικές ζεύξεις.
 - Σύνολο δρομολογητών $N = \{ u, v, w, x, y, z \}$
 - Σύνολο ζεύξεων $E = \{ (u, v), (u, x), (v, x), (v, w), (x, w), (x, y), (w, y), (w, z), (y, z) \}$
- Κάθε ακμή (a, b) έχει μια τιμή που αντιπροσωπεύει το κόστος της $c(a, b)$. Παρατηρήσεις:
 - Αν δεν υπάρχει ακμή (a, b) τότε το $c(a, b) = \infty$.
 - Θεωρούμε ότι $c(a, b) = c(b, a)$.
 - Επίσης, θεωρούμε το κόστος δεδομένο και δεν εξετάζουμε πως προκύπτει αυτό.



Διαδρομή Ελάχιστου Κόστους

- Στόχος ενός αλγορίθμου δρομολόγησης είναι να βρει τις πιο συμφέρουσες διαδρομές ανάμεσα σε 2 κόμβους.
- Παράμετροι που προσδιορίζουν το κόστος:
 - μήκος φυσικής ζεύξης, ταχύτητα, συνδρομές κλπ.
- Μια διαδρομή σ' ένα γράφο είναι μια ακολουθία κόμβων

$$(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)$$

όπου τα ζεύγη $(x_1, x_2), (x_2, x_3), \dots, (x_{p-1}, x_p)$ είναι ακμές

- Το κόστος K μιας διαδρομής $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)$ ορίζεται ως εξής:

$$K = c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$$

- Συνήθως υπάρχουν διάφορες δυνατές διαδρομές ανάμεσα σε 2 κόμβους.
- Μια ή περισσότερες από αυτές ονομάζεται:

Διαδρομή Ελάχιστου Κόστους (Least Cost Path)



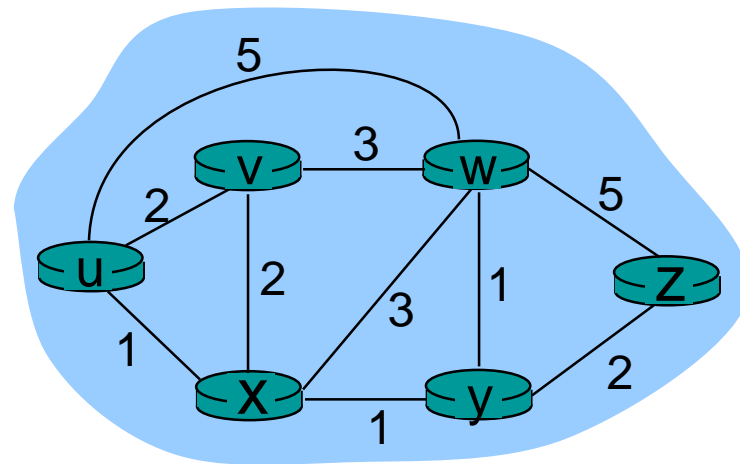
Πως υπολογίζεται η διαδρομή ελάχιστου κόστους

Παράδειγμα:

- Στο διπλανό σχήμα η διαδρομή ελάχιστου κόστους αναμεσα στους κόμβους **u** και **w** είναι (u,x,y,w).

$$K = c(u,x) + c(x,y) + c(y,w)$$

$$= 1 + 1 + 1 = 3.$$



- Πόσες διαδρομές υπάρχουν ανάμεσα στους κόμβους **u** και **z**;
- Ποια από αυτές είναι η διαδρομή ελάχιστου κόστους;
- Ο υπολογισμός αυτός δεν καθόλου εύκολος όταν έχουμε να κάνουμε με κόμβους διαδικτύου, όπου τα μεγέθη είναι αρκετά μεγάλα.
- Ένας αλγόριθμος δρομολόγησης αναλαμβάνει αυτό το έργο.



Κατηγοριοποίηση αλγορίθμων

■ A. Κεντρικοποιημένοι-αποκεντρωμένοι

■ Κεντρικοποιημένοι:

- *Λαμβάνονται υπόψη όλες οι συνδέσεις και όλα τα κόστη αυτών (πλήρη γνώση για το δίκτυο).*
- *Αλγόριθμος κατάστασης ζεύξης (Link-state algorithm).*

■ Αποκεντρωμένοι:

- *Αρχικά κάθε δρομολογητής έχει γνώση μόνο για τους γειτονικούς του κόμβους. Ο υπολογισμός της διαδρομής ελάχιστου κόστους γίνεται σταδιακά μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας, όπου λαμβάνει χώρα ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δρομολογητών*
- *Αλγόριθμος διανύσματος απόστασης (Distance-vector algorithm)*

■ B. Στατικοί δυναμικοί

■ Στατικοί:

- *Οι διαδρομές αλλάζουν με αργό ρυθμό.*

■ Δυναμικοί:

- *Οι διαδρομές αλλάζουν ανάλογα με το φόρτο κίνησης.*

